

УДК 297.8:612.356:611-018.52:578.087.1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕРЫ РАЗЛИЧИЯ МЕЖДУ ГРУППАМИ ПРИЗНАКОВ ЯДЕР, ДИФФЕРЕНЦИРУЮЩИХСЯ ЭРИТРОБЛАСТОВ ПЕЧЕНИ АМФИБИЙ

В. А. Шалимов

Институт зоологии НАН Украины, ул. Б. Хмельницького, 15, 252601 Киев-30, ГСП, Украина

Получено 12 марта 1997

Визначення міри відмінності між групами ознак диференціюючих ядер еритроblastів печінки амфібій. Шалімов В. О. — Дослідження присвячене розробці методу загальної відміни з урахуванням спільності між групами різнорідних ознак, який включає в себе відмінності відстаней між величинами ознак, відмінності мінливості величин ознак та відмінності величин співвідношення значень ознак у групах. За допомогою розробленого методу досліджено процес диференціювання ядер еритроblastів печінки контрольних амфібій та амфібій, які постійно живуть у зоні аварії Чорнобильської АЕС (*Rana lessonae* і *R. ridibunda*). У амфібій із зони ЧАЕС порушення диференціювання ядер визначається переважно на етапі переходу поліхроматофільних еритроblastів в оксифільні, що виявляється значним зниженням величини показника загальної відміни, викликаним зменшенням відстані між величинами ознак, зменшенням відмін мінливості ознак та зменшенням відмін між скоками величин ознак при збереженні співвідношення між величинами даних відмінностей.

К л ю ч о в і с л о в а: міра відміни, спільність ознак, ядра еритроblastів, диференціювання, печінка, амфібії, зона Чорнобильської АЕС, Україна.

Definition of Difference Measure Among Character Groups of Differentiating Erythroblasts Nuclei in Amphibian Liver. Shalimov V. A. — The investigation is undertaken in order to elaborate a method of general difference with regard of commonness among groups of heterogeneous characters, which includes the distance between the character magnitudes, difference of the character variation magnitude and the correlation between character values within groups. The liver erythroblasts nuclear differentiation process has been studied with the aid of suggested method on control animals and those permanent residents of the Chernobyl NPP zone (*Rana lessonae* and *R. ridibunda*). The differentiation of erythroblast nuclei in Chernobyl NPP zone resident animals mostly violates at a stage of polychromatophilous erythroblasts crosses to oxyphilous, that displays in a form of a considerable character general index difference reduction, variation difference magnitude decrease and jump difference between character values decrease at persisted correlation between given difference values.

Key words: measure difference, character commonness, erythroblast nuclei, differentiation, liver, amphibians, Chernobyl NPP exclusion zone, Ukraine.

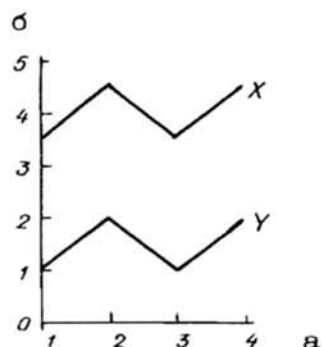
Введение. Различие или несходство и его количественная характеристика имеет важное значение для классификации объектов, представленных несколькими признаками. Различие между признаками объектов определяет сходство между ними — меньшее различие указывает на большее сходство, а большее различие свидетельствует о меньшем сходстве.

Группы признаков различаются между собой по многим показателям, которые относятся как к отдельным признакам, так и ко всей группе. Например, представленные в графической форме признаки характеризуются уровнем расположения переменных, а вся группа — дисперсией значений признаков, спусками и подъемами ломаной линии, соединяющей значения переменных (Cronbach, Gleser, 1953).

В качестве меры различия между группами признаков нередко используют расстояние между величинами признаков групп (Олдендер, Блэшфилд, 1989). Но различие между величинами признаков не отражает других основных групповых характеристик признаков, к которым относятся вариации величин признаков групп и взаимоотношения между рядом расположенными величинами признаков в группах. Обычно отклонение величин признаков от их средних значений в группах определяются дисперсиями, а взаимоотношения между величинами сравниваемых

Рис. 1. Сравнение групп признаков (общее расстояние 10 усл. ед.; группа X: среднее линейное отклонение 0,5 усл. ед., $|x_1 - x_2|$ макс. 1,0 усл. ед.; а – признаки, б – условные единицы).

Fig. 1. Comparison of character groups (general distance 10 conv. units; group X: average linear deflection 0,5 c. u., $|x_1 - x_2|$ max. 1,0 cond. unit.; а – characters, б – conventional units).

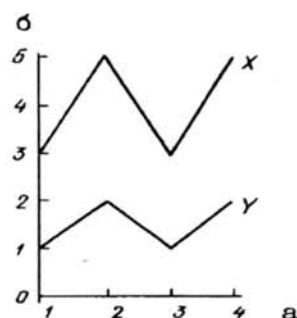


признаков в группе — ковариациями (Вентцель, Овчаров, 1988). Различие по какому-либо из перечисленных признаков, как и отдельно взятое расстояние, не позволяет оценить сумму различий между группами признаков. Например, часто применяемый в кластерном анализе коэффициент корреляции, который основан на использовании нормированного отклонения величин признаков ($x_i - \bar{X}$): S_x , хорошо выявляет сходство форм профилей групп признаков, но совсем нечувствителен к расстоянию между профилями (Williams, 1971).

Если мы имеем дело со случайными величинами, то несхожесть каждого из рассматриваемых показателей, характеризующих группы признаков, увеличивает общее различие между группами независимо друг от друга. Диаметры ядер эритробластов (L, B) могут принимать в процессе дифференцировки различные значения. Коэффициент элонгации (L:B) и объем ядер (V) выводятся из значений диаметров, но каждый из этих признаков, взятый отдельно, не связан непосредственно друг с другом, поскольку как L:B, так и V могут принимать одинаковое значение при различном сочетании величин диаметров. Независи-

Рис. 2. Сравнение групп признаков (общее расстояние 10 усл. ед.; группа X: среднее линейное отклонение 1,0 усл. ед., $|x_1 - x_2|$ макс. 2 усл. ед.; а – признаки, б – условные единицы).

Fig. 2. Comparison of character groups (general distance 10 c. u.; group X: average linear deflection 1,0 c. u., $|x_1 - x_2|$ max. 2,0 c. u.; а – characters, б – conventional units).

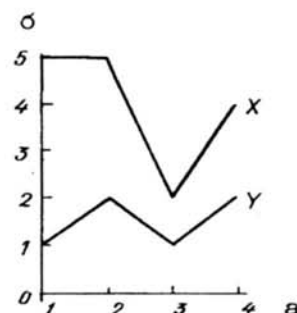


мы между собой также и показатели групп признаков — расстояние, дисперсии и скачки. На рисунках 1–3 представлены три пары сравниваемых групп признаков, имеющие одинаковое расстояние между группами. Одинаковое расстояние между группами величин признаков на рисунках 1 и 2 не оказывает никакого влияния на различие среднего линейного отклонения между сравниваемыми группами. Группы величин (рис. 2, 3) имеют одинаковое не только расстояние, но и среднее линейное отклонение, но графики совершенно не похожи друг на друга из-за наличия в одной из групп признаков (рис. 3) значительного скачка между двумя величинами признаков.

Мерой различия между группами признаков может быть сумма различий между независимыми показателями групп, что требует приведения основных характеристик групп к одним единицам измерения. Величины призна-

Рис. 3. Сравнение групп признаков (общее расстояние 10 усл. ед.; группа X: среднее линейное отклонение 1,0 усл. ед., $|x_1 - x_2|$ макс. 3 усл. ед.; а – признаки, б – условные единицы).

Fig. 3. Comparison of character groups. (general distance 10 c. u.; group X: average linear deflection 1,0 c. u., $|x_1 - x_2|$ max. 3,0 c. u.; а – characters, б – conventional units).



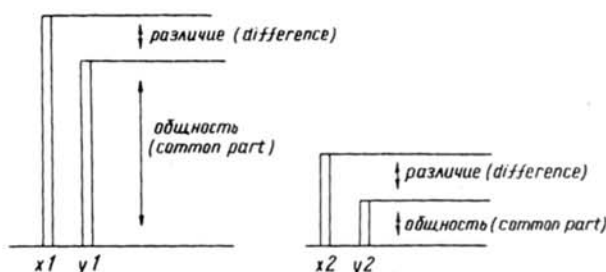


Рис. 4. Различие и общность у двух пар показателей: x_1 и y_1 , x_2 и y_2 .

Fig. 4. Difference and commonness of two pairs of indexes: x_1 and y_1 , x_2 and y_2 .

группы можно использовать разницу их величин ($x_1 - x_2$).

Следует подчеркнуть, что меры различия не дают поправки на долевое участие различий в сумме различий и общностей признаков. На рисунке 4 представлены различия и общности между двумя парами признаков (x_1 и y_1 ; x_2 и y_2). Хотя различие между ними одинаковое, значительное несходство в общности не дает основания утверждать, что представленные пары признаков идентичны.

Задачей нашего исследования является: разработка меры различия между двумя группами разнородных признаков, которая бы позволила учитывать несходство между величинами признаков, их дисперсиями и несоответствиями величин признаков в группах с учетом соотношения различий и общностей величин признаков; проверка меры различия при оценке процесса дифференцировки ядер эритробластов печени амфибий, который включает в себя непропорциональные и разнонаправленные изменения величин неоднородных признаков на этапах созревания эритробластов.

Материал и методы. Процессы дифференцировки ядер эритробластов в печени амфибий из экологически чистых районов и из зоны ЧАЭС оценивались с помощью показателя общего различия между величинами групп признаков. На гистологических препаратах, окрашенных по Паппенгейму, в очагах эритропоза печени амфибий *R. lessonae* и *R. ridibunda* исследовались ядра лимфоцитоподобных клеток, которые являются предшественниками клеток эритроидного ряда (Kirizuka, 1982), и ядра эритробластов — базофильных, полихроматофильных и оксифильных. С помощью окуляр-микрометра у этих клеток определялся в мкм больший (L) и меньший (B) диаметры. Форма ядер вычислялась по коэффициенту элонгации (L:B), а объем — по формуле: $3,14:48 (L+B)^3$ (Fisher, Inke, 1956). У 10 контрольных амфибий и у 10 амфибий из зоны ЧАЭС в каждой стадии дифференцировки эритробластов определялись средние величины показателей 200 ядер; всего измерено 1600 ядер.

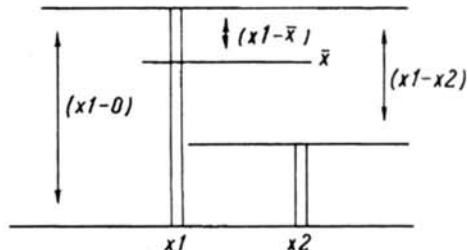


Рис. 5. Показатели признаков группы: $(x_1 - 0)$ — величина, $(x_1 - \bar{X})$ — линейное отклонение величины признака от средней величины признаков группы, $(x_1 - x_2)$ — различие величин рядом расположенных признаков.

Fig. 5. Character group indexes: $(x_1 - 0)$ — magnitude, $(x_1 - \bar{X})$ — character value linear deflection from average group value, $(x_1 - x_2)$ — magnitude difference of side to side disposed character.

ков групп измеряются в линейных единицах и их можно представить как расстояние между нулем и точкой на числовой оси, соответствующей величине этого признака ($x_1 - 0$). Характеристикой вариации признаков может служить линейное отклонение величин признаков от их средней ($x_1 - \bar{X}$). Для оценки в линейных единицах соотношения между сравниваемыми величинами признаков одной груп-

В группах контрольных амфибий и амфибий из зоны ЧАЭС проводилось сравнение между признаками ядер эритробластов различных стадий дифференцировки. Признаки ядер (L, B, L:B, V) стандартизовали по формуле: $(x_i - \bar{X}_k) / \bar{S}x_k$, где \bar{X}_k — средняя величина средних величин этапов дифференцировки одного признака контроля, $\bar{S}x_k$ — средняя величина средних квадратических отклонений одного признака

контроля (табл. 1). Наряду с величиной значения признака ($x_1 - 0$) определяли расстояние от нее до среднего значения величин признаков группы ($x_1 - \bar{X}$) и расстояние до величины значения рядом расположенного признака ($x_1 - x_2$) (рис. 5).

При сравнении стандартизованных значений признаков групп ядер эритробластов двух стадий дифференцировки по каждому из трех показателей определялось их различие (Р) и общность (О). Различия определялись следующим образом: величин признаков — $p_1 = |x_1 - y_1|$, расстояний между значениями признаков и средними величинами значений признаков своих групп — $p_2 = |(x_1 - \bar{X}) - (y_1 - \bar{Y})|$, расстояний между величинами рядом расположенных признаков — $p_3 = |(x_1 - x_2) - (y_1 - y_2)|$. Общность (o_1, o_2, o_3) определялась по тем же показателям признаков: x и y ; ($x_1 - \bar{X}$) и ($y_1 - \bar{Y}$); ($x_1 - x_2$) и ($y_1 - y_2$). Общность между однозначными показателями равняется меньшему по абсолютной величине показателю. Между положительными и отрицательными значениями показателей общая часть отсутствует, поэтому общность между ними равна нулю.

Затем определялись средние величины различий и общностей абсолютных значений показателей признаков сравниваемых групп: $\bar{p}_1, \bar{p}_2, \bar{p}_3, \bar{o}_1, \bar{o}_2, \bar{o}_3$, а также суммы указанных средних значений различий и общностей: $\Sigma \bar{p}$ и $\Sigma \bar{o}$.

Различие между двумя группами признаков зависит не только от величины суммы средних величин различий, но и от долевого участия различий в сумме различий и общностей. Эта зависимость устанавливается по формуле комплексного показателя различия (P_o):

$$P_o = \Sigma \bar{p} \frac{\Sigma \bar{p}}{(\Sigma \bar{p} + \Sigma \bar{o})}$$

(Суммирование проводилось по трем средним величинам различий и общностей).

Различия между сравниваемыми группами признаков имеют максимальное значение при отсутствии общностей, а появление или увеличение общностей приводит к уменьшению различий между группами даже при неизменной сумме различий ($\Sigma \bar{p}$). Учитывая эту особенность, общая величина различий, с учетом общности — P_o — может служить мерой различия между группами признаков.

Результаты исследования. Различия между значениями признаков ядер эритробластов различных стадий дифференцировки, установленные с помощью критерия P_o , представлены в таблице 2, а дендрограмма метода одиночной связи этого критерия — в таблице 3.

У контрольных амфибий первичный кластер образован лимфоцитоподобными клетками и базофиль-

Таблица 1. Стандартизованные средние величины признаков ядер эритробластов печени у контрольных амфибий и у амфибий из зоны ЧАЭС

Table 1. Standartised average character values of the liver erythroblast nuclei in control amphibians and amphibians from CNPP zone

Признаки	Лимфоцитоподобные клетки	Эритробласты		
		Базофильные	Полихроматофильные	Оксифильные
Контроль				
L	-1,36	-0,13	0,86	0,63
B	-0,23	0,67	0,82	-1,26
L:B	-1,07	-0,74	-0,17	1,90
V	-1,02	0,26	1,05	-0,29
Зона ЧАЭС				
L	-1,63	-0,1	0,44	0,85
B	0,15	0,96	0,34	-0,49
L:B	-1,48	-0,97	0,03	1,05
V	-1,01	0,32	0,55	0,29

Примечание: L — больший диаметр ядра, B — меньший диаметр ядра, L:B — коэффициент элонгации, V — объем ядра.

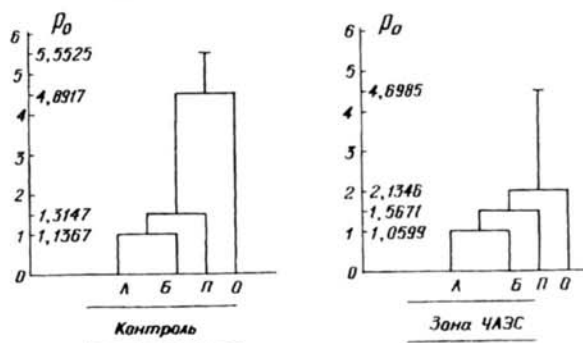
Таблица 2. Критерий различия P_o между группами ядер эритробластов печени различных стадий дифференцировки у контрольных амфибий и у амфибий из зоны ЧАЭС

Table 2. Difference index D_c among liver erythroblast nuclei groups at different differentiation stages in control amphibians and amphibians from CNPP zone

Контроль	Зона ЧАЭС
ЛБ - 1,1367	ЛБ - 1,0599
БП - 1,3147	БП - 1,5671
ЛП - 2,4586	ПО - 2,1346
ПО - 4,8917	ЛП - 2,4378
ЛО - 5,017	БО - 4,205
БО - 5,5525	ЛО - 4,6995

Т а б л и ц а 3. Дендрограмма метода одиночной связи критерия P_o между значениями признаков ядер эритробластов печени у контрольных амфибий и у амфибий из зоны ЧАЭС

T a b l e 3. Solitary connection method dendrogram of D_c index among erythroblast liver nuclei character values in control amphibians and amphibians from CNPP zone.



П р и м е ч а н и е: Л – лимфоцитоподобные клетки, Б – базофильные эритробласты, П – полихроматофильные эритробласты, О – оксифильные эритробласты.

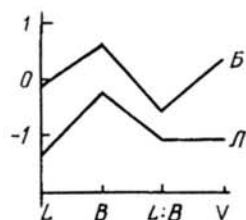


Рис. 6. Контроль. Сравнение величин признаков ядер лимфоцитоподобных клеток (Л) и базофильных эритробластов (Б).

$\Sigma \bar{p} = 1,7175$
 $\Sigma \sigma = 0,8775$
 $P_o = 1,1367$

$\bar{p}_1 = 0,935$ — 54,36%
 $\bar{p}_2 = 0,32$ — 18,60%
 $\bar{p}_3 = 0,4625$ — 26,88%
 $\Sigma \bar{p} = 1,7175$

Fig. 6. Control. Comparison of lymphocyte-like cell (L) and basophilous (B) erythroblast nuclei character values .

Близкое расположение друг к другу полихроматофильных и оксифильных эритробластов свидетельствует об уменьшении различий между ними, связанном с нарушением данного этапа дифференцировки эритробластов.

У контрольных амфибий на этапе дифференцировки лимфоцитоподобных клеток в базофильные эритробласты значения признаков ядер увеличены довольно пропорционально, что приводит к схожести профилей между этими двумя группами (коэффициент корреляции равен 0,6941) (рис. 6). Различие между группами признаков обусловлено, в основном, расстоянием между двумя графиками. В общем различии между группами фактор расстояния составляет 54,36%. Суммарный показатель различия ($\Sigma \bar{p}$) имеет небольшую величину — 1,7175. Поскольку общность между группами значений признаков равняется 0,8775, комплексный критерий различия (P_o) становится равным 1,1367.

Графики значений признаков базофильных и полихроматофильных эритробластов (рис.7) располагаются близко друг к другу и имеют схожую форму (коэф-

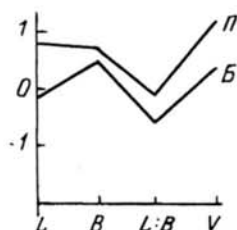


Рис. 7. Контроль. Сравнение величин признаков ядер базофильных (Б) и полихроматофильных эритробластов (П)

$\Sigma \bar{p} = 1,885$
 $\Sigma \sigma = 0,8175$
 $P_o = 1,3147$

$\bar{p}_1 = 0,625$ — 33,15%
 $\bar{p}_2 = 0,89$ — 47,21%
 $\bar{p}_3 = 0,37$ — 19,62%
 $\Sigma \bar{p} = 1,885$

Fig. 7. Control. Comparison of basophilous (B) and polychromatophilous (P) erythroblast nuclei character values.

ными эритробластами. Через небольшой промежуток (0,178 ед. критерия) к ним присоединяются полихроматофильные эритробласты. На значительном расстоянии (3,577 ед. критерия) от первых двух групп находятся оксифильные эритробласты.

У амфибий из зоны ЧАЭС, в отличие от контроля, все стадии дифференцировки эритробластов по величине критерия P_o находятся на небольшом расстоянии друг от друга. К первичному кластеру из лимфоцитоподобных клеток и базофильных эритробластов через 0,5075 ед. критерия присоединяются полихроматофильные эритробласты, а еще через 0,5671 ед. критерия к ним добавляются оксифильные эритробласты.

Рис. 8. Контроль. Сравнение величин признаков ядер полихроматофильных (П) и оксифильных (О) эритробластов.

$\Sigma \bar{p} = 5,105$	$\bar{p}_1 = 1,4375 - 28,15\%$
$\Sigma \bar{o} = 0,2225$	$\bar{p}_2 = 1,315 - 25,75\%$
$P_o = 4,8917$	$\bar{p}_3 = 2,3525 - 46,08\%$
	$\Sigma \bar{p} = 5,105$

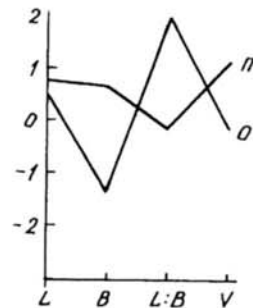


Fig. 8. Control. Comparison of polychromatophilous (P) and oxyphilous (O) erythroblast nuclei character values.

коэффициент корреляции равен 0,8071). Различие между группами по показателю расстояния имеет небольшую величину и составляет всего 33,15%. Основное различие обусловлено разницей отклонений величин признаков от средних величин своих групп – 47,21%. Общность значений признаков ($\Sigma \bar{o}$) также, как и на предыдущем этапе дифференцировки, составляет довольно большую величину (0,8175), что приводит к снижению разницы между группами до 1,3147 (показатель P_o).

Рис. 9. Зона ЧАЭС. Сравнение величин признаков ядер лимфоцитоподобных клеток (Л) и базофильных (Б) эритробластов

$\Sigma \bar{p} = 1,89$	$\bar{p}_1 = 1,045 - 55,29\%$
$\Sigma \bar{o} = 1,4818$	$\bar{p}_2 = 0,385 - 20,37\%$
$P_o = 1,0599$	$\bar{p}_3 = 0,46 - 24,33\%$
	$\Sigma \bar{p} = 1,89$

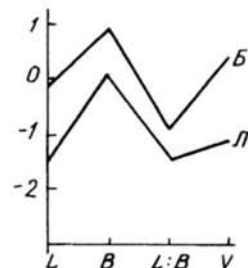


Fig. 9. CNPP exclusion zone. Comparison of lymphocyte-like cells (L) and basophilous (B) erythroblast nuclei character values.

В процессе дифференцировки полихроматофильных эритробластов в оксифильные происходит значительное уменьшение малого диаметра ядра, рост коэффициента элонгации и снижение объема ядра. Эти изменения признаков ядер отмечаются на графике наличием резких подъемов и спусков (рис. 8). Основной вклад в различие между сравниваемыми группами вносит различие между разницей величин рядом расположенных признаков (46,08%). Довольно большой по величине суммарный показатель различия между группами ($\Sigma \bar{p} = 5,05$) из-за небольшой общности между группами снижается незначительно ($P_o = 4,89$).

У амфибий из зоны ЧАЭС этап дифференцировки от лимфоцитоподобных клеток до базофильных эритробластов похож на подобный этап у контрольных животных: различие расстояний между признаками составляет 55,29% (рис. 9). Форма профилей групп признаков ядер сравниваемых стадий клеток красной крови довольно сходная – коэффициент корреляции между ними равен 0,8318.

На этапе дифференцировки базофильных эритробластов в полихроматофильные графики признаков ядер, также, как и в контроле, находятся довольно близко друг к другу, но частично пересекаются между собой (рис. 10). В отличие от контроля, наибольшую долю различий привносит разница между величинами рядом расположенных признаков (45,10%). Суммарная общность ($\Sigma \bar{o}$) между группами равна 0,5025, комплексный показатель различия $P_o = 1,5671$.

Рис. 10. Зона ЧАЭС. Сравнение величин признаков ядер базофильных (Б) и полихроматофильных (П) эритробластов

$\Sigma \bar{p} = 1,9675$	$\bar{p}_1 = 0,5975 - 30,36\%$
$\Sigma \bar{o} = 0,5025$	$\bar{p}_2 = 0,4825 - 24,52\%$
$P_o = 1,5671$	$\bar{p}_3 = 0,8875 - 45,10\%$
	$\Sigma \bar{p} = 1,9675$

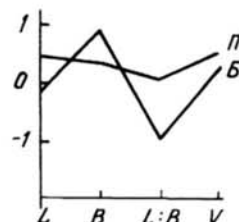


Fig. 10. Zone CNPP. Comparison of basophilous (B) and polychromatophilous (P) erythroblast nuclei character values.

Рис. 11. Зона ЧАЭС. Сравнение величин признаков ядер полихроматофильных (П) и оксифильных (О) эритробластов

$$\Sigma \bar{p} = 2,3525$$

$$\Sigma \bar{o} = 0,24$$

$$P_o = 2,1346$$

$$\bar{p}_1 = 0,63 \text{ — } 26,78\%$$

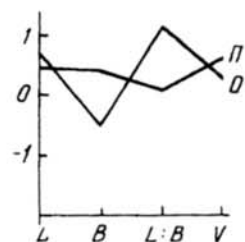
$$\bar{p}_2 = 0,63 \text{ — } 26,78\%$$

$$\bar{p}_3 = 1,0925 \text{ — } 46,43\%$$

$$\Sigma \bar{p} = 2,3525$$

Fig. 11. Zone CNPP. Comparison of polychromatophilous (P) and (O) erythroblast nuclei character values.

Примечание к рис. 6–11: ось ох — признаки ядер, оу — стандартизованные величины.



Резко отличается от контроля этап дифференцировки полихроматофильных эритробластов в оксифильные (рис. 11). Хотя соотношение между показателями различий в долевом отношении сходны с контролем ($\bar{p}_1=26,45\%$, $\bar{p}_2=26,45\%$, $\bar{p}_3=46,43\%$) величины этих показателей почти в два раза меньше, чем в контроле. У амфибий из зоны ЧАЭС $\Sigma \bar{p}=2,3525$, а в контроле — 5,105. Пропорциональное снижение всех показателей различий у амфибий из зоны ЧАЭС приводит к небольшому по величине комплексному показателю различий между данными группами признаков ядер эритробластов — $P_o = 2,1346$. Небольшая суммарная общность между признаками групп ($\Sigma \bar{o}=0,24$) не оказывает на величину P_o выраженного влияния.

Суммируя приведенные данные, можно констатировать, что предлагаемый метод позволяет определять общее различие между группами признаков по расстояниям, линейным отклонениям и скачкам между величинами рядом расположенных признаков. Этого результата нельзя добиться при использовании меры различия по одному показателю (коэффициенту корреляции или расстоянию). В некоторых случаях суммарная общность между группами признаков вносит значительную поправку в величину общего различия между ними.

Выводы. 1. Предложен метод для определения общего различия, с учетом общности, между группами признаков по трем показателям: величинам значений признаков, отклонениям величин признаков от средних значений признаков своих групп и по несоответствиям между величинами рядом расположенных признаков.

2. Промежуточные результаты, полученные при определении общего показателя различия, позволяют проводить анализ вклада в суммарное различие отдельных его составляющих.

3. У амфибий из зоны ЧАЭС нарушение дифференцировки ядер определяется преимущественно на этапе перехода полихроматофильных эритробластов в оксифильные, что проявляется значительным снижением величины показателя общего различия, вызванным уменьшением расстояния между величинами признаков, уменьшением различий вариации признаков и уменьшением различий между скачками величин признаков при сохранении соотношения между величинами данных различий.

Олдендер М. С., Блэшфилд Р. К. Кластерный анализ // Факторный, дискриминантный и кластерный анализ. — М.: Финансы и статистика, 1989. — С. 139–214.

Вентцель Е. С., Овчаров Л. А. Теория вероятностей и ее инженерные приложения. — М.: Наука. — 1988. — 480 с.

Williams W. Principles of clustering // Ann. Rev. Ecol. System. — 1971. — 2. — P. 303–326.

Cronbach L., Gleser G. Assessing similarity between profiles // Psychol. Bull. — 1953. — 50. — P. 456–473.

Kirizuka K. A study on the mechanism of the development of extramedullary hemopoiesis in adult mouse liver // Acta med. Okayama. — 1982. — 36, 3. — P. 177–186.

Fischer J., Inke G. (1956). — Цит. по: Автандилов Г. Г. Медицинская морфометрия. Руководство. — М.: Медицина, 1990. — 384 с.